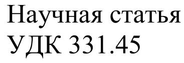
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ









Научная статья
УДК 331.45
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-6-11

Стохастический факторный анализ производственного травматизма на предприятиях железнодорожного транспорта

Ю. В. Дементьева ✉, **С. Д. Татаринцев**
Самарский государственный университет путей сообщения (г. Самара, Российская Федерация)
✉ yulia_dementyeva@bk.ru

Аннотация
Введение. Железнодорожные предприятия характеризуются повышенной опасностью труда, профессиональная деятельность персонала связана с риском травмирования. В отрасли регулярно проводятся мероприятия по обеспечению безопасности труда. При этом в ОАО «Российские железные дороги» («РЖД») фиксируются несчастные случаи. Снижение рисков требует теоретической проработки проблемы, а также изучения прикладных решений, что обусловливает актуальность и значимость предложенного исследования. Цель работы — определение результирующих показателей, от которых зависит динамика производственного травматизма в «РЖД».

Материалы и методы. Для выявления причин травмирования работников железнодорожного транспорта холдинга «РЖД» авторы проанализировали статистику за 2007–2021 гг. Систематизировали и ранжировали 17 видов происшествий, с которыми связаны несчастные случаи. С помощью кривой Парето их дифференцировали как результирующие и нерезультирующие. Выявили 7 результирующих. Выполнили стохастический анализ их совокупности. Установили взаимосвязи каждого фактора с общим количеством несчастных случаев. Рассчитали коэффициенты корреляции.

Результаты исследования. Представили в виде таблицы предварительные расчеты для получения коэффициента стохастической зависимости производственного травматизма от количества травмированных работников «РЖД» при дорожно-транспортных происшествиях. Рассчитали и скорректировали значение коэффициента стохастической связи. Определили среднюю ошибку — разницу между общим травматизмом и травматизмом при дорожно-транспортных происшествиях. Результаты этих вычислений сравнили с данными таблицы квантилей *t*-распределения Стьюдента для доверительной вероятности. Аналогично рассчитали и обобщили в виде таблицы степень стохастических связей для остальных результирующих видов происшествий. Итог визуализировали в виде диаграммы.

Обсуждение и заключения. Результаты проведенных изысканий позволяют утверждать, что динамика производственного травматизма в ОАО «РЖД» определяется главным образом инцидентами при дорожно-транспортных происшествиях. Необходимо исследовать их причины и разработать мероприятия, нацеленные на повышение безопасности труда.

Ключевые слова*:* охрана труда, дорожно-транспортный травматизм, стохастический анализ, железнодорожный транспорт.

Для цитирования. Дементьева, Ю. В. Стохастический факторный анализ производственного травматизма на предприятиях железнодорожного транспорта / Ю. В. Дементьева, С. Д. Татаринцев // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 4. — С. 6–11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-6-11

Original article

Stochastic Factor Analysis of Occupational Injuries at Railway Transport Enterprises

Yuliya V. Dementyeva ✉, **Svyatoslav D. Tatarintsev**
Samara State Transport University (Samara, Russian Federation)
✉ yulia_dementyeva@bk.ru

Abstract
Introduction. Railway enterprises are characterized by an increased labor risk, the professional activity of personnel is associated with the risk of injury. Occupational safety measures are regularly carried out in the industry. At the same time, accidents are known to occur in Russian Railways JSC (Russian Railways). Risk reduction requires a theoretical study of the problem, as well as the study of applied solutions, which determines the relevance and significance of the proposed study. The purpose of the work is to determine the resulting indicators on which the dynamics of industrial injuries in Russian Railways depends.
Materials and Methods. To identify the causes of injury to railway transport workers of the Russian Railways holding, the authors analyzed statistics for 2007–2021. We systematized and ranked 17 types of accidents, which are associated with accidents resulting in injuries. Using the Pareto chart, they were differentiated as resultant and non-resultant. We identified 7 resultants. We performed a stochastic analysis and established the relationship of each factor with the total number of accidents. The correlation coefficients were calculated.
Results. Preliminary calculations were presented in the form of a table to obtain the coefficient of stochastic dependence of industrial injuries on the number of injured employees of Russian Railways in road accidents. The value of the stochastic relations coefficient was calculated and adjusted. The average error was determined — the difference between the general injury rate and the injuries in road accidents. The results of these calculations were compared with the data of the Student's t-distribution quantile table for confidence probability. Similarly, the degree of stochastic relationships for the other resulting types of incidents was calculated and summarized in a table. The result was visualized in a diagram.
Discussion and Conclusion. The results of the conducted surveys allow us to assert that the dynamics of industrial injuries in Russian Railways JSC is determined mainly by incidents in road accidents. It is necessary to investigate their causes and develop measures aimed at improving occupational safety.

Keywords: occupational safety, road traffic injuries, stochastic analysis, railway transport.

For citation. Dementyeva Yu. V., Tatarintsev S. D. Stochastic Factor Analysis of Occupational Injuries at Railway Transport Enterprises. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no. 4, pp. 6−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-6-11

Введение. Законодательные акты Российской Федерации и задокументированные стандарты ОАО «Российские железные дороги» («РЖД») дают системное представление о мерах по охране труда, обеспечению безопасности жизни и здоровья работников[1, 2].

ОАО «РЖД» владеет железнодорожной инфраструктурой Российской Федерации и является одним из крупнейших работодателей. Железнодорожная отрасль — зона повышенной опасности труда. Профессиональная деятельность железнодорожников связана с риском травмирования. В связи с этим задачи руководства ОАО «РЖД»:

– обеспечение безопасности труда;
– профилактика производственного травматизма;
– минимизация профессиональных рисков.

Проблему безопасности труда изучали О. П. Петрова, С. В. Янчий, Дж. Белл и др. [1–3].

В 2007–2021 гг. на предприятиях железнодорожного транспорта зафиксировали 5029 несчастных случаев с травмами и смертельным исходом.

Травмирование сотрудников оборачивается для работодателя высокими экономическими издержками. Следует проанализировать динамику производственного травматизма, а затем точечно рассмотреть воздействие каждого результирующего фактора.

[1] Трудовой кодекс Российской Федерации. Статья 210. Основные направления государственной политики в области охраны труда / Государственная Дума ; Совет Федерации // КонсультантПлюс : [сайт]. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_20LAW_34683/ed198846c41aa4fc2123f3abe0fe692a5587c5ed// (дата обращения: 12.08.2022).
[2] СТО РЖД 15.001-2020 «Система управления охраной труда в ОАО “РЖД”». Общие положения» / ОАО «РЖД». Москва : ОАО «РЖД», 2020. С. 46.

Компания постоянно ведет работу по указанным направлениям, однако на предприятиях железных дорог несчастные случаи все-таки происходят, что подтверждает актуальность исследования проблемы [4].

Цель работы — определить результирующие показатели, которые воздействуют на динамику производственного травматизма в ОАО «РЖД».

Для решения поставленной цели необходимо с помощью стохастического факторного анализа выявить доли влияния различных видов происшествий на динамику производственного травматизма ОАО «РЖД» в 2007–2021 гг.

Материалы и методы. В первую очередь необходимо ранжировать происшествия, в наибольшей мере воздействующие на динамику производственного травматизма. Для этого воспользуемся диаграммой Парето. Она позволяет определить 20 % наиболее значимых показателей, обеспечивающих 80 % изменений в динамике производственного травматизма[3].

На основании статистических данных производственного травматизма ОАО «РЖД» в 2007–2021 г. сформируем диаграмму Парето (рис. 1). На левой оси ординат отметим общее количество случаев травмирования, на правой — интервальную шкалу 0–100 %. На оси абсцисс обозначим показатели несчастных случаев. Построим кумулятивную кривую. Для этого на поле графика нанесем точки накопленных сумм, которые по правой оси ординат будут равны количественному значению накопленного кумулятивного процента по каждому виду происшествий. Соединим их.

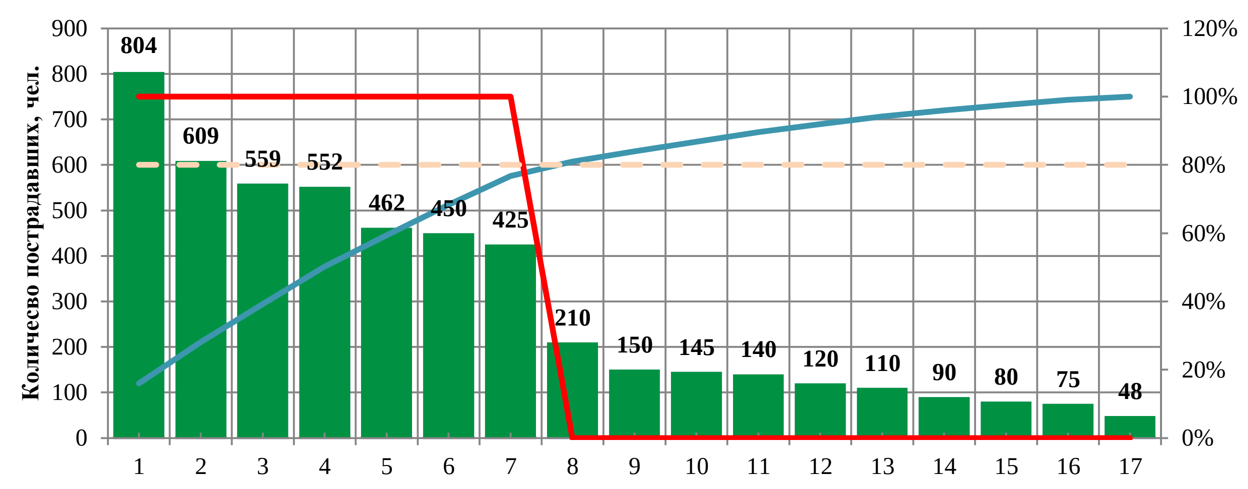


Рис. 1. Диаграмма Парето — распределение несчастных случаев по видам инцидентов: 1 — дорожно-транспортные происшествия; 2 — падение на поверхности; 3 — падение с высоты; 4 — поражение электротоком; 5 — воздействие перемещения грузов; 6 — удар, придавливание; 7 — наезд, удар, зажатие подвижным составом; 8 — падение, обрушение материалов, груза, сооружений; 9 — воздействие вредных химических веществ; 10 — удар, зажатие, не связанные с подвижным составом; 11 — укол, разрез; 12 — воздействие отлетевшими от удара предметами; 13 — попадание в глаз инородного тела; 14 — авария, крушение на ж.-д. транспорте; 15 — падение при резком торможении подвижного состава; 16 — противоправные действия других лиц; 17 — воздействие экстремальных температур

Для разделения факторов на результирующие и не результирующие построим горизонтальную прямую из оси кумулятивной прямой до пересечения с кривой Парето. С места этого пересечения проведем отрезок к оси абсцисс. Факторы слева от отрезка будут результирующими, а справа — не результирующими.

Диаграмма показывает, что в 2007–2021 гг. результирующими видами несчастных случаев в «РЖД» были:

– дорожно-транспортные происшествия (804 человека);
– падение на поверхности (609);
– падение с высоты (559);
– поражение электротоком (552);
– воздействие перемещаемых грузов (462);
– удар, придавливание (450);
– наезд, удар, зажатие подвижным составом (425).

Определим происшествия, в наибольшей степени влияющие на статистические показатели производственного травматизма в «РЖД». Для этого проведем стохастический анализ совокупности результирующих. Установим наличие (отсутствие) и значимость соответствующих корреляционных

[3] СТО РЖД 1.05.515.2-2009 «Методы и инструменты улучшений. Анализ Парето» / ОАО «РЖД». Москва : ОАО «РЖД», 2009. С. 18.

взаимосвязей [5, 6]. Коэффициент корреляции определяет взаимозависимость изменения значений факторов (от –1 до +1).

Выясним степень взаимосвязи каждого i-го фактора при различных видах происшествий от общего количества несчастных случаев. Рассчитаем коэффициенты корреляции [7–9].

Установим, как динамика производственного травматизма в «РЖД» зависит от дорожно-транспортных происшествий (наибольшее число пострадавших, рис. 1).

Рассчитаем коэффициент корреляции r_{xy} , определяющий стохастическую взаимосвязь между переменными x (количество травмированных работников при i-х видах происшествий) и y (общее количество травмированных работников при несчастных случаях на производстве):

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i-\bar{x}) \times (y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2 \times \sum(y_i-\bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где x_i — значения, принимаемые переменной x; y_i — значения, принимаемые переменной y.

Результаты исследования. Представим в виде таблицы предварительные расчеты для получения коэффициента стохастической зависимости производственного травматизма от количества травмированных работников «РЖД» при дорожно-транспортных происшествиях в 2007–2021 гг.

Таблица 1

Расчетные данные для получения коэффициента стохастической связи

Год	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})$
2007	63	573	22,40	237,43	501,76	56373,31	5318,45
2008	52	650	11,40	314,70	129,96	99038,20	3587,62
2009	52	650	11,40	314,70	129,96	99038,20	3587,62
2010	67	583	26,40	247,31	696,96	61163,25	6529,04
2011	41	410	0,40	74,70	0,16	5580,59	29,88
2012	59	369	18,40	33,45	338,56	1119,13	615,54
2013	37	336	–3,60	1,07	12,96	1,14	–3,84
2014	44	275	3,40	–60,30	11,56	3635,68	–205,01
2015	33	220	–7,60	–115,30	57,76	13293,32	876,25
2016	40	223	-0,60	–112,30	0,36	12610,54	67,38
2017	23	182	–17,60	–153,30	309,76	23499,86	2698,02
2018	34	168	–6,60	–167,30	43,56	27988,17	1104,16
2019	23	152	–17,60	–183,30	309,76	33597,66	3226,02
2020	20	119	–20,60	–216,30	424,36	46784,24	4455,71
2021	21	120	–19,60	–215,30	384,16	46352,64	4219,81

Коэффициент корреляции между рассматриваемыми переменными $r_{xy} = 0{,}86$. Для определения его значимости проведем корректировку по модулю:

$$|\bar{r}| = \sqrt{1 - (1 - r^2)\frac{n-1}{n-2}}, \quad (2)$$

где $|\bar{r}|$ — скорректированное значение коэффициента стохастической связи; r — расчетное значение коэффициента стохастической связи, вычисленное по формуле (1).

По результатам расчетов получаем $|\bar{r}|$ = 0,89.

Далее выполним расчет с полученным коэффициентом корреляции r_{xy} . Определим его среднюю ошибку m_r (разница между общим травматизмом и травматизмом при дорожно-транспортных происшествиях):

$$m_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}. \quad (3)$$

Подставив расчетные значения в формулу (3), получим $m_r = 0{,}14$.

Для оценки существенности (значимости) r_{xy} определим статистическое значение $t_{\text{ст}}$ по формуле :

$$t_{\text{ст}} = \frac{|\bar{r}|}{m_r}. \quad (4)$$

Подставив расчетные значения в формулу (4), получим $t_{\text{ст}} = 6{,}21$.

Результаты исследования сравним с данными таблицы квантилей t-распределения Стьюдента для доверительной вероятности $1 - a = 0{,}99$ в зависимости от числа степеней свободы $v = n - 2, \alpha_1 = 0{,}05$ и $\alpha_2 = 0{,}01$.

При $t_{ст} \leq t_{\alpha=0,05}$ определяется нулевая гипотеза, где $r = 0$. Это указывает на несущественность связи. При $t_{ст} > t_{\alpha=0,01}$ нулевая гипотеза не принимается и связь между явлениями считается установленной [7–9].

В данном случае $6{,}21 > -6{,}29$, то есть $t_{ст} > t_{\alpha=0,01}$. Нулевая гипотеза отклоняется, и связь между явлениями считается установленной.

Аналогично рассчитаем степень стохастических связей для остальных результирующих видов происшествий и сведем их в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета стохастических связей результирующих видов происшествий

№ п/п	Происшествия	r_{xy}	$\lvert\bar{r}\rvert$	m_r	$t_{ст}$
1	Дорожно-транспортные	0,86	0,89	0,14	6,21
2	Падение на поверхности одного уровня	0,62	0,64	0,22	2,92
3	Падении с высоты	0,65	0,68	0,20	3,25
4	Поражение электротоком	0,39	0,41	0,26	1,59
5	Воздействие перемещаемых грузов	0,53	0,55	0,23	2,36
6	Удар, придавливание	0,43	0,45	0,24	1,81
7	Наезд, удар, зажатие подвижным составом	0,51	0,52	0,24	2,19

Расчетные значения значимости стохастических связей (коэффициенты и их статистические значения) представлены на рис. 2.

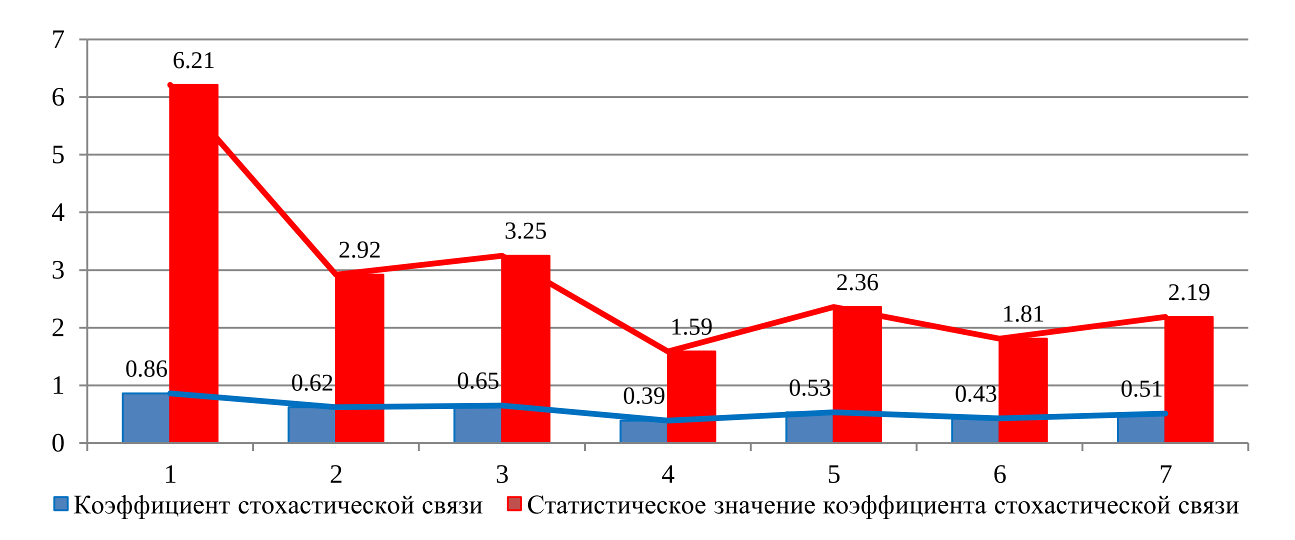


Рис. 2. Значимость стохастических связей: 1 — дорожно-транспортные происшествия; 2 — падение на поверхности одного уровня; 3 — падение с высоты; 4 — поражение электротоком; 5 — воздействие перемещаемых грузов; 6 — удар, придавливание; 7 — наезд, удар, зажатие подвижным составом

Расчеты показали, что все исследуемые результирующие виды происшествий стохастически взаимосвязаны с динамикой производственного травматизма ОАО «РЖД» в 2007–2021 гг. Наибольший вес имеет фактор травмирования при дорожно-транспортных происшествиях.

Обсуждение и заключения. Итак, динамика производственного травматизма в ОАО «РЖД» определяется главным образом дорожно-транспортными инцидентами. Необходимо исследовать их причины, что позволит разработать превентивные мероприятия, нацеленные на повышение безопасности труда в отрасли.

Список литературы

1. Петров, О. П. Производственный травматизм на предприятиях энергетики / О. П. Петров // Молодой ученый. — 2020. — № 16 (306). — С. 158–160.

2. Янчий, С. В. Анализ причин производственного травматизма в организации на основе применения статистического метода / С. В. Янчий, Н. Д. Дегтярев // Молодой ученый. — 2017. — № 4 (138). — С. 95–100.

3. Bell, J. Review of human reliability assessment methods / J. Bell, J. Holroyd. — Buxton : HSE Books, 2009. — 78 p.

4. Хамидуллина, Е. А. Управление рисками производственного травматизма на железнодорожном транспорте на основе статистического анализа / Е. А. Хамидуллина, М. Н. Тарасова // Век. Техносферная безопасность. — 2016. — № 1 (1). — С. 8.

5. Емельянов, В. Ю. Методы моделирования стохастических систем управления / В. Ю. Емельянов. — Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2004. — 152 с.

6. Jendoubi, T. Whitening approach to probabilistic canonical correlation analysis for omics data integration / T. Jendoubi, K. A. Strimmer // BMC Bioinformatics. — 2019. — Vol. 20. — P. 13. https://doi.org/10.1186/s12859-018-2572-9

7. Дементьева, Ю. В. Корреляционный анализ влияния количественных факторных признаков на статистические показатели производственного травматизма (на примере хозяйства пути Куйбышевской железной дороги) / Ю. В. Дементьева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2016. — № 3 (31). — С. 139–147.

8. Дементьева, Ю. В. Корреляционный анализ влияния фактора «вид происшествия» на статистические показатели производственного травматизма (на примере хозяйства пути Куйбышевской железной дороги) / Ю. В. Дементьева // Известия Транссиба. — 2016. — № 2 (26). — С. 127–133.

9. Чернов, Е. Д. Математико-статистические методы исследования причин производственного травматизма / Е. Д. Чернов. — Н. Новгород : НИИЖТ, 1979. — С. 38.

Поступила в редакцию 21.08.2022
Поступила после рецензирования 27.09.2022
Принята к публикации 27.09.2022

Об авторах:

Дементьева Юлия Васильевна, доцент кафедры «Биомедицинская безопасность на транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения (РФ 443066, г. Самара, ул. Свобода, 2 в), кандидат технических наук, ORCID, yulia_dementyeva@bk.ru

Татаринцев Святослав Дмитриевич, аспирант кафедры «Биомедицинская безопасность на транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения (РФ 443066 г. Самара, ул. Свобода, 2 в), ORCID, sv2030@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Ю. В. Дементьева — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов. С. Д. Татаринцев — построение концепции, сбор аналитического материала, проведение расчетов, подготовка текста, формулирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.